

УДК 614.8

DOI 10.33042/2522-1809-2019-3-149-175-179

А.Р. Оразбаєв

ТОВ «Семсер - Ерт сөндіруші», Республіка Казахстан

## ПОПЕРЕДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ДЖЕРЕЛА ЗАПАЛЮВАННЯ ПІД ЧАС ЗАВАНТАЖЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ РІДИН В РЕЗЕРВУАРИ ВЕТРИКАЛЬНОГО ТИПУ

*Представлені результати експериментальних лабораторних і польових випробувань вибухобезпечного приймально-роздавального пристрою, що дозволяє знизити утворення поверхневого електростатичного заряду, що утворюється безпосередньо в резервуарі за рахунок збільшення часу перебування цівки рідини в затопленому стані, і попередження руху завантажувомої рідини по стінках резервуара. Показано, що при застосуванні вибухобезпечного завантажувального пристрою утворення поверхневого заряду знижується в десятки разів, що дозволить знизити можливість утворення такого розряду електростатичного заряду, який призведе до займання пароповітряного середовища у переданому резервуарі.*

**Ключові слова:** електростатичний заряд, приймально-роздавальний пристрій, струмки рідини, подвійний електричний шар.

### Постановка проблеми

При завантаженні вуглеводневих діелектричних рідин в резервуари, можуть відбуватися вибухи з наступними пожежами. Причина вибухів - іскровий розряд статичної електрики, що утворився при транспортуванні вуглеводневих рідин, а також в результаті процесів, що протікають в самому резервуарі [1].

Сформовані на сьогоднішній день уявлення про причини вибухів і пожежі при операціях наливу палива в цистерни вимагають значних доповнень і уточнень, в тому числі кількісних оцінок основних фізичних процесів, що протікають при цих операціях, особливо процесів перерозподілу статичної електрики на поверхні рідини в резервуарі.

Всі натурні дослідження, виконані за величиною електризації нафтопродуктів, проводились при їх русі по трубопроводу і в подальшому, розглядалося, в основному, внесення певної кількості заряду в резервуар і час, необхідний для релаксації внесеного заряду в самому резервуарі.

Вважається, що об'ємний електростатичний заряд, який утворився в трубопроводі, цілком вводиться в резервуар, і, в основному, визначає величину електростатичного заряду, яка викликає виникнення розрядів всередині резервуару. Вважається, що величина сили струму електризації, що надходить потоку рідини в резервуар, найбільш повно характеризує небезпеку вибуху від розряду електростатичного електрики, і саме силу струму електризації визначають і розраховують дослідники і практики.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сила струму електризації визначається цілою ни-

зкою чинників [2]: температурою, діелектричної проникністю нафтопродукту, тиском, в'язкістю, щільністю, наявністю включень електроліту, геометричними розмірами труб, електричним опором діелектричної рідини, швидкістю потоку, будовою потоку, стану поверхні стінок і т.д. Тобто, силу струму електризації відображає таке рівняння [2]:

$$I = f(T, \varepsilon, p, v, \rho, C_0, \alpha, \gamma, v, \Delta) \quad (1)$$

де  $T$  - термодинамічна температура, К;  $\varepsilon$  - діелектрична проникність нафтопродукту;  $p$  - тиск в трубопроводі, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho$  - щільність нафтопродукту, кг/м<sup>3</sup>;  $C_0$  - концентрація заряджених частинок, що утворилися при розпаді дисоціюючих включень, іон-моль/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  - визначають геометричні розміри труби, м;  $\gamma$  - електричний опір нафтопродукту, в - швидкість потоку в трубопроводі, м/с;  $\Delta$  - шорсткість поверхні трубопроводу, м.

Силу струму електризації, також знаходять як кількість заряду, що протікає через все поперечний переріз труби в одиницю часу. Приймав, припущення, що швидкість по всьому перерізу труби однакова, і що заряд по перерізу труби розподілено рівномірно, отримуємо середню величину сили струму електризації, що протікає через весь поперечний переріз труби [3]:

$$I_{\text{ср}} = q_{\text{ср}} \cdot S \cdot v_{\text{ср}} \quad (2)$$

де  $q_{\text{ср}}$  - середня об'ємна щільність електричного заряду, Кл/м<sup>3</sup>;  $S$  - площа перерізу трубопроводу, м<sup>2</sup>;  $v_{\text{ср}}$  - середня швидкість руху нафтопродукту у вхідному трубопроводі, м/с.

У вивчених літературних джерелах не відображено, і не визначається величина додаткового заряду, який може утворитися вже в самому резервуарі, при

турбулентному русі рідини під час завантаження, і контакті зі стінками.

В трубопроводі при русі нафтопродуктів може утворитися і перебувати без створення пожежонебезпечної обстановки заряд будь-якої величини, так як там немає окислювача, і розряди в нафтопродуктах якщо і будуть, то приведуть тільки до можливого утворення якихось нових вуглеводневих сполук. Наприклад, частинок вуглецю або низько-молекулярних сполук (метан, етен і т.д.) - продуктів термічної деградації рідкого вуглеводню при високотемпературному безкисневому розкладанні, або продуктів полімеризації, наявних в нафтопродуктах ненасичених сполук.

Небезпека виникає в той момент, коли наелектризована рідина стикається з окисником. Заповнення резервуара - це основний осередок небезпеки виникнення пожежі в результаті розряду статичної електрики.

Внесені разом з паливом в резервуар електростатичні заряди створюють електричне поле і, відповідно, умови для виникнення іскрового пробою газового простору над поверхнею продукту.

Причому граничне значення щільності заряду, при якому настає електричний пробій рідини в трубопроводі і на поверхні рідини, знаходять з рівняння [4]:

$$\rho_m = \frac{4\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E_m}{D} \quad (3)$$

де  $\epsilon$  - діелектрична проникність нафтопродукту;  $\epsilon_0$  - електрична постійна, Ф/м;  $E_m$  - граничне значення напруженості електричного поля для даної рідини, Д - коефіцієнт дифузії іонів, м<sup>2</sup>/с.

В [4] зазначено: «Внаслідок електричних властивостей поверхневих шарів рідини будь яка зміна поверхні сприяє просторовому поділу зарядів подвійного шару і тим самим заряджанні крапельок рідини».

Тобто, в [4] йдеться про те, що при поверхневому заряді, краплинки утворюються при виході рідини з труби на відкриту поверхню, тому потрібно досліджувати процес надповерхневого краплеутворення при різних швидкостях руху рідини в трубопроводі і пристроїв, які зможуть знизити дане краплеутворення.

В [5] вважали, що «розподіл турбулентних пульсацій не впливає на провідність, і тому може не враховуватися». Дунаєв в [4] вказує, що «електризація рідини відбувається в момент відділення від її поверхні дрібних крапель, які формуються з найтонших поверхневих шарів рідини, тобто електризація при розбризкуванні обумовлюється розривами поверхні рідини», а «тертя між газом і рідиною не викликає електризацію, якщо при цьому не відбувається розбризкування рідини».

А процес відділення дрібних крапельок, і саме інтенсивний процес можливий тільки при турбулентному русі на поверхні рідини.

На сьогоднішній день допустима швидкість витікання рідини в резервуар визначається, виходячи з

необхідності, обмежити максимально можливу щільність заряду в приповерхневому шарі рідини, що знаходиться в ємності, при використуваному способі завантаження [6].

Розглянемо розрахункові методи визначення поверхневого заряду, які пропонуються дослідниками. Заряд в резервуарі, можна визначити за висловом [7]:

$$q_{\text{рез}} = \frac{\pi r_0 \cdot v_0 \cdot \tau \cdot q_r}{V_{\text{нач}} + r_0^2 \cdot v_0 \cdot t} \left[ 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right] \quad (4)$$

де  $r_0$  - радіус труби, м;  $v_0$  - середня швидкість руху рідини в трубопроводі, м/с;  $\tau$  - час релаксації, с;  $q_r$  - щільність заряду в рідині, що виходить з трубопроводу, Кл / м<sup>3</sup>;  $V_{\text{нач}}$  - початковий обсяг рідини в резервуарі, м<sup>3</sup>;  $t$  - час, що минув з початку завантаження, с.

А для випадку завантаження в порожній резервуар [6]:

$$q_{\text{рез}} = q_r \cdot \frac{\tau}{t} \left[ 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right] \quad (5)$$

Виходячи з наведених формул 4 і 5 видно, що якщо час релаксації заряду становить 10 - 20 секунд [7] то, навіть якщо  $q_r$  - складає величину, розраховану з допустимої для досягнення заряду рівного ¼ мінімального потужності розряду для займання даної рідини [8], то в перші 2,5 - 5 секунд така можливість вибуху з наступною пожежею завжди 100% присутня при завантаженні резервуара.

**Метою цієї статті є дослідження утворення джерела запалювання під час завантаження діелектричних вуглеводневих рідин в резервуари ветрикального типу.**

## Виклад основного матеріалу

Відомо, що при стрімкому перебігу важкої рідини можуть виникати при визначених умовах стрибки, тобто підйоми рівня рідини. При гідравлічному стрибку виникає зворотна течія в верхніх шарах рідини, рух активний, потік насичений бульбашками повітря (рис.1).

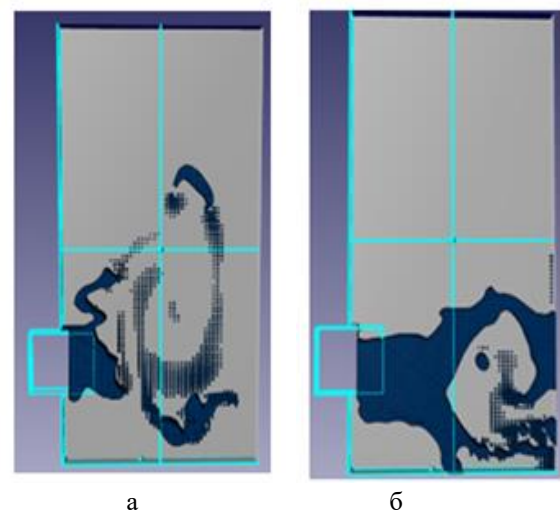


Рис. 1. Поведінка струменя нафти при завантаженні в резервуар в початкові моменти часу, лінійна швидкість руху рідини а - 3 м / с, б - 4 м/с

Відомо, що щільність об'ємного заряду при закачуванні в порожній резервуар може бути на декілька порядків вище, ніж в частково заповнений-ний. Тому закачування нафтопродуктів (ЛЗР, ГР) в порожній резервуар або танкер, щоб уникнути вибухів рекомендують проводити в початковий період з особливою обережністю, коли швидкість руху рідини в живильному патрубку при завантаженні не повинна перевищувати 1 м / с. Однак, даний факт теоритично не обґрунтований, і констатується на основі досвіду експлуатації резервуарів, як об'єктів зберігання, транспортування та відпуску нафтопродуктів.

Однак, прийнявши, що щільність об'ємного заряду, який виходить на поверхню пов'язана з сукупністю миттєвих швидкостей, то в незаповнений резервуар, обурення викликані струмом в при поверхневому шарі багато вище обурень, ніж обурення викликані в при поверхневому шарі коли струмине стає затопленою. Утворення бризок можливо при ударі струменя нафтопродукту в поверхню рідини. При цьому утворенні краплі можуть розділитися по розмірам і відповідно несучу ними заряду. В'язкість, вагомість, поверхневий натяг, турбулентність, стійкість, фазові переходи - перелік чинників, що впливають на утворення і подальший рух бризок [9].

Дослідженнями, представленими в [10] встановлено, що для запобігання виносу на поверхню рідини статичного заряду, достатньо для утворення іскри потужністю необхідної для займання парів вуглеводневої рідини, необхідно виконати дві умови. Перша умова забезпечити перебування елементарної цівки завантажуючої рідини в об'ємі рідини до виходу на поверхню необхідний час, і друге, запобігти підйому рідини по стінках резервуару, що спостерігається при завантаженні рідини в резервуар.

На рис. 2 представлені результати моделювання завантаження рідини в резервуари.

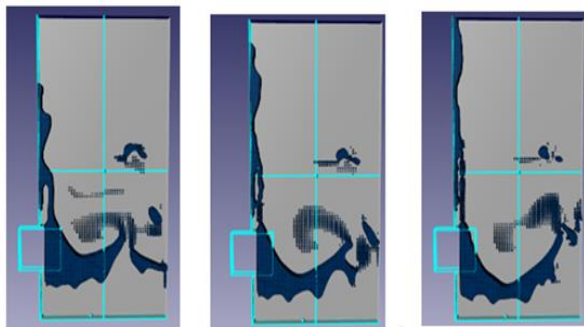


Рис. 2. Поведінки струменю нафти при завантаженні в резервуар в початковий момент часу при лінійній швидкості руху рідини 1 м/с

З малюнків видно, що при завантаженні вуглеводневої рідини відбувається підйом рідини по стінках резервуара. Рух рідини по стінках резервуара призводить до руйнування сформованого раніше на вертикальних стінках подвійного електричного шару, що

сприяє зростанню величини заряду на поверхні рідини. Тобто, чим інтенсивніше ведеться процес завантаження вуглеводневої рідини, тим більший заряд формується на поверхні рідини (за рахунок перенесення його зі стінок резервуара в поверхневий шар), і тим більша ймовірність виникнення розряду, потужність якого буде достатньою для загоряння вуглеводневої рідини.

Для зниження електростатичного заряду на поверхні вуглеводневої рідини до безпечної величини, при її завантаженні з будь-якою швидкістю в резервуари різного типу, необхідно забезпечити збільшення часу перебування цівки діелектричної рідини, що несе об'ємний електростатичний заряд, до виходу їх на поверхню.

Виконати обидві умови (збільшити час перебування в об'ємі рідини елементарної цівки і запобігти руху рідини по стінках резервуара) можна шляхом застосування спеціальних завантажувальних пристроїв.

Вибухобезпечний приймально-роздавальний пристрій для вертикальних резервуарів працює наступним чином: в секції ПРУ завжди знаходиться рідина, яка залишається там і після зливу продукту, що зберігається через зливний патрубок. При цьому кількість продукту, що залишився в резервуарі, буде залежати тільки від висоти розташування секції 3 та її периметра. При надходженні рідини в резервуар під час завантаження ПРУ завжди знаходиться в затопленому стані. Цей затоплений стан і дає можливість вводити продукт з будь-якої необхідною швидкістю. Площа секції в кілька разів перевищує діаметр ПРУ, ніж забезпечує зменшення швидкості руху рідини як всередині секції, так і її елементарний рух по зовнішнім похилим стінкам секції ПРУ. Ламінарний рух рідини перешкоджає вертикальному руху завантажувати рідини по стінках самого резервуара, і таким чином додатковий небезпечний електростатичний заряд всередині резервуара не формується. Висота стінки секції ПРУ вибирається така, що забезпечує знаходження елементарної струменю рідини в затопленому стані необхідний час (визначається розрахунковим шляхом для кожного виду рідини) і залежить від максимально необхідної швидкості завантаження і діелектричних і реологічних властивостей рідини.

Методика проведення експерименту полягала в наступному. Досліджуваний завантажувальний пристрій прикріплювали до впускного патрубка, стінки полімерного прозорого резервуара покривали шаром виявляючого паперу, і починали заповнювати резервуар рідиною з різною швидкістю її надходження в полімерний резервуар до досягнення рівня рідини вище впускного патрубка (візуальні спостереження можна було здійснювати за рахунок прозорості стінок полімерної ємності). Швидко витягували виявляючий папір і визначали розподіл крапель і змоченого рідиною шару.

Лабораторні випробування показали достатню ефективність даного вибухобезпечного ПРУ, в порівнянні з завантаженням вуглеводневої діелектричної рідини із застосуванням інших модельних завантажувальних пристроїв.

Для проведення натурних випробувань завантажувального пристрою була виготовлена експериментальна установка. Експериментальна установка складалася з естакади (рис. 4), основного резервуара (обсяг - 200 дм<sup>3</sup>), попередньо заповненого бензином АІ-92, і прийомних резервуарів (обсяг - 200 дм<sup>3</sup>) з вбудованим завантажувальним пристроєм і без завантажувального пристрою.

Обидва резервуари були встановлені на діелектричну підставку з вулканізованої листової гуми для виключення витoku електростатичного заряду (ЕЗ). Приймальний резервуар з вбудованим завантажувальним пристроєм заземлюючих. Заземлення здійснювали мідним багатожильним дротом довжиною 4,5 м від привареного до резервуару болта до поглиблено-го в землю металевго штиря.

З протилежного боку від заземлюючого болта на висоті 60 см від дна резервуару виробляли вимір величини напруженості ЕЗ, сформованого на поверхні резервуару, використовуючи через вимірювач параметрів електростатичного поля ППЕП-1. Фіксацію величини струму витoku, часу витoku і величини поверхневого ЕЗ виробляли за допомогою відеокамери.

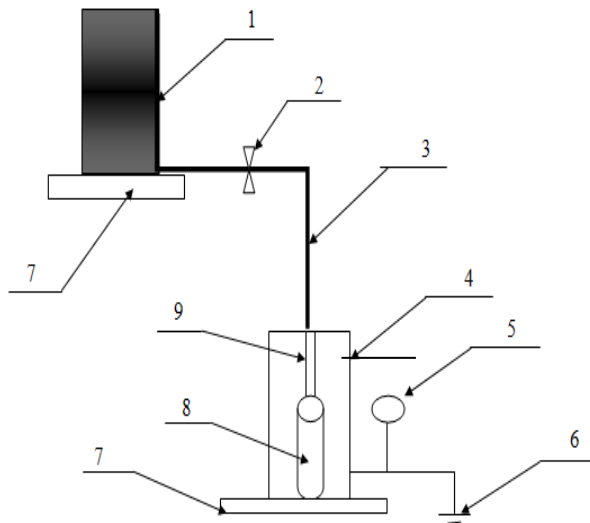


Рис. 3. Схема експериментальної установки для проведення полігонних випробувань вибухобезпечного приймально-роздавального пристрою: 1 - металева ємність 200 дм<sup>3</sup>; 2 - вентиль кульової D = 50 мм; 3 - відвідний патрубок зливного пристрою; 4 - приймальна вертикальна ємність; 5 - вимірювач струму витoku статичної електрики - міліамперметр; 6 - заземлення приймального резервуару; 7 - ізоляційна підставка гумова; 8 - приймально-роздавальний пристрій; 9 - зливна труба

Середні значення результатів апробації працездатності завантажувального пристрою приведені в таблиці.

З таблиці видно, що напруженість електростатичного поля, сформованого на поверхні приймального резервуару, в 20 разів менше при використанні розробленого завантажувального пристрою і загальний заряд, відведений зі струмом витoku, в сотні разів менше, ніж заряд, відведений від резервуару, що не має завантажувального пристрою.

Таблиця 1  
Результати апробації працездатності здатності вибухобезпечного ПРУ

Приймальний резервуар	З вибухобезпечним ПРУ	Без ПРУ
Напруженість електростатичного поля, Е, кв / м	1	20
Максимальна величина струму витoku, І, мА	0,01	2
Час витoku, т, с	35	60
Заряд, відведений від резервуару, q, мКл	$q_2 = 0,01 \cdot 35 = 0,35$	$q_1 = 2 \cdot 60 = 120$

## Висновки

Висновок: використання вибухобезпечного ПРУ, що дозволяє збільшити час перебування цівки рідини до виходу на поверхню і запобігти змиканню заряду зі стінок резервуару (поділ подвійного електричного шару) показало свою ефективність і дозволило знизити утворення поверхневого електростатичного заряду в десятки разів.

## Література

- Оразбаев, А.Р. Механизм электризации углеводородной жидкости при заполнении ею резервуаров вертикального типа [Текст] / О.Г. Горовых, А.Р. Оразбаев // Международный научно-практический журнал «Чрезвычайные ситуации: образование и наука» Гомель, ГИИ МЧС Республики Беларусь 2014, том 9, №2. – С.16-22.
- Власова, Е.П. Повышение безопасности систем хранения нефти путем нейтрализации статического электричества. [Текст] : Дис. на соис. уч. степени к.т.н. / Е.П. Власова. - Тюмень. : 2008. – 110 с.
- Кицис, С.И. Методика расчета электризации нефти в промысловых и магистральных нефтепроводах. [Текст] / С.И. Китис, Е.П. Власова. // «Нефть и газ», №2, 2001. – С.62–63.
- Дунаев, А.М. Особенности электростатической защиты транспортных судов // Ленингр. Высш. инж. мор. училище им. С.О. Макарова. [Текст] / А.М. Дунаев - М. : В/О «Мортехинформреклама», 1990. – 36 с.
- Gavis, J., Koszman, I. (1961) Development of charge in lowconductivity liquids flowing past surfaces; a theory of the phenomenon in tubes. *J.Coll. Sci.*, August, 16, 375-391.



6. Тюняев, А.В. Исследования причин воспламенения газовой смеси нефтепродуктов при заполнении резервуаров дизельным топливом [Текст] / А.В. Тюняев, А.С. Должилов, И.С. Зверева // Журнал Фундаментальные исследования. Раздел «Технические науки». №6, 2013. – С. 873–876.
7. Захарченко, В.В. Электризация жидкостей и ее предотвращение. [Текст] / В.В. Захарченко, Н.И. Крячко, Е.Ф. Мажара и др. – М.: Химия, 1975. – 127 с.
8. Допустимые скорости движения жидкостей по трубопроводам и истечения в емкости (аппараты, резервуары) [Текст] : РТМ 6-28-007-78/ ВНИИТБХП. – М.: 1978. – 91 с.
9. Маменко, Ю. Н. Брызгообразование под влиянием газовых потоков и удара тел о воду. (К вопросу забрызгиваемости судов) [Текст] : Диссертация к.т.н. / Ю.Н. Маменко. - Калининград 1983 г. – 217 с.
10. Оразбаев, А. Р. Метод снижения выносимого на поверхность углеводородной жидкости в резервуаре электростатического заряда [Текст] / А.Р. Оразбаев, О.Г. Горовых. Сборник материалов международной заочной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» 28 апреля 2016 года. – Светлая Поляна : ИППК, – 2016. – С.49-53.

## References

1. Orazbaev, A.R. & Gorovyh, O.G. (2014) Mechanism of electrification of hydrocarbon liquid during the vertical tanks feeding. *International scientific and practical journal "Emergencies: Education and Science"* Gomel, GII of the Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus, 9, 2, 16-22.
2. Vlasova, E.P. (2008) Increasing of the safety of oil storage systems by neutralizing static electricity. Dissertation to Student Degree Ph.D. Tyumen, 110.
3. Kitsis, S.I. & Vlasov, E.P. (2001) Method of calculation of oil electrification in commercial and header oil pipelines. «*Oil and gas*», 2, 62-63.

4. Dunaev, A.M. (1990) Features of electrostatic protection of transport vessels. S.O. Makarov Leningr. Outs engine sea school. M.: V/O "Mortechinformreklama", 36.
5. Gavis, J., Koszman, I. (1961) Development of charge in lowconductivity liquids flowing past surfaces; a theory of the phenomenon in tubes. *J.Coll. Sci.*, August, 16, 375-391.
6. Tyunayev, A.V., Dolzhikov, A.S., Zverev, I.S. (2013) Investigation of ignition causes of gas-air mixture of petroleum products during feeding of tanks with diesel fuel. *Journal of Fundamental Research. Section "Technical Sciences"*, 6, 873-876.
7. Zakharchenko, V.V., Kryachko, N.I., Mazhar, E.F. and others (1975) Electrification of liquids and its prevention. M.: Chemistry, 127.
8. Permissible speeds of liquids through pipelines and outflow in containers (apparatus, tanks): RTM 6-28-007-78 / VNIITBHP. - M.: 1978, 91.
9. Mamenko, Yu.N. (1983) Spray formation under the influence of gas streams and impact of bodies on water. (To the question of spattering of vessels) the Dissertation of the candidate of technical sciences, Kaliningrad, 217.
10. Orazbaev, A.R. & Gorovyh, O.G. (2016) Method of reducing of the hydrocarbon liquid deposited on the surface in the reservoir of electrostatic charge. *The collection of materials of the international correspondence scientific-practical conference "Fire safety: problems and perspectives"* April 28, 2016. Light Grove. : IPPK, 49-53.

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. Ю.П. Ключка, Національний університет цивільного захисту України, Україна.

**Автор:** ОРАЗБАЕВ Алішер Рахімжанович  
ТОВ «Семсер - Өрт сөндіруші»  
Республика Казахстан  
E-mail – orazbaev.ar@gmail.com

## PREVENTION OF IGNITION SOURCES FORMATION DURING THE VERTICAL TANKS FEEDING BY DIELECTRIC CARBOHYDRATE LIQUIDS

A. Orazbayev

LLP «Semser - Өрт сөндіруші», Republic of Kazakhstan

*The causes of formation of an additional electrostatic charge at loading of dielectric hydrocarbon liquids (LHCL) in tanks are revealed. The results of experimental laboratory and field tests of an explosion-proof send-receive device are presented, which allows to reduce the formation of surface electrostatic charge that is formed directly in the tank by increasing the residence time of the fluid flow in a flooded state and preventing the movement of the fluid being loaded on the walls of the tank.*

*It is established that the movement of liquid on the walls of the tank leads to the destruction of the previously formed double electric layer on the vertical walls, which contributes to the increase in the value of charge on the liquid surface. Thus, the more intensive the process of filling the hydrocarbon liquid, the greater the charge is formed on the surface of the liquid, and the greater the likelihood of a discharge, which power will be sufficient to ignite the hydrocarbon liquid.*

*An explosion-proof send-receive device for vertical tanks has been developed. It works as follows: in the PSR section, there is always a liquid that stays there and after the product is drained through the drain pipe. In this case, the amount of product residue in the reservoir will depend only on the height of the location of the section and its perimeter.*

*It is shown that using an explosion-proof loading device, the formation of surface charge is reduced by a factor of ten, which will reduce the possibility of forming such a level of electrostatic charge, which will lead to the ignition of the steam-air medium in the tank. The research results can be used in the design of receiving and dispensing devices in reservoir construction and monitoring the magnitude of the electrostatic field above the surface of the liquid in various types of storage.*

**Keywords:** electrostatic charge, send-receive device, liquid flows, double electric layer.